

Technical Paper

Pengembangan Metoda Deteksi Rintangan untuk Traktor Tanpa Awak Menggunakan Kamera CCD

Development of Obstacle Detection Method for Unmanned Tractor using CCD Camera

Usman Ahmad¹, Desrial² dan Mudho Saksono³

Abstract

For unmanned tractor guided by global positioning system, ability for eluding obstacles such as trees, big stone, cavity, bund, people, and other objects in the work area is very important in order not to stop the operation. Surrounding detection system using CCD camera makes it possible for unmanned tractor to detect obstacles in front of it realtime. However, with so many different objects that may captured by the camera, it will need a lot of image processing steps that takes a lot of time so it is no longer suitable for realtime detection in application. The proposed research is aimed to develop a simpler obstacle detection method by adding a red laser pointer to the CCD camera used to capture scene in front of the tractor. The red laser light that reflected by an obstacle gives an important information in the image, and the distance of the obstacle could be calculated based on phythagoras theory. The results showed that all obstacles with 1 m distance, 80% obstacles with 2 m distance, and 40% obstacles with 3 m distance could be detected. Obstacles with more than 3 m distances could not be detected due to weak laser light for the distances. The accuracy of distance prediction for all situation is 67.5%, which is still need improvements.

Keywords: unmanned tractor, detection system, obstacle, image processing

Abstrak

Kemampuan menghindari rintangan pada lahan kerja berupa pohon, batu, lubang, pematang, manusia, dan benda-benda lainnya yang tidak mungkin dilewati diperlukan oleh traktor yang dioperasikan tanpa awak berbasis GPS. Sistem pengindra lingkungan sekitar menggunakan kamera CCD memungkinkan untuk mendeteksi rintangan yang berada di depan traktor secara *realtime*. Namun dengan kemungkinan beragamnya obyek yang ditangkap oleh kamera, pengolahan citra menjadi kompleks dan membutuhkan waktu yang relatif lama sehingga tidak cocok untuk diaplikasikan. Penelitian ini mencoba mengembangkan metoda deteksi rintangan pada lahan kerja traktor tanpa awak yang lebih sederhana dengan penambahan sinar laser merah pada kamera CCD yang digunakan. Sinar laser merah yang tertahan pada rintangan memberikan informasi pada sistem pengindra bahwa di depan ada rintangan, dan jaraknya dari traktor dihitung berdasarkan prinsip phitagoras. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semua rintangan berjarak 1 m, 80% rintangan berjarak 2 m, dan 40% rintangan berjarak 3 m dapat dideteksi. Rintangan yang berjarak lebih dari 3 m dari traktor belum dapat dideteksi karena kekuatan sinar laser yang menurun dengan bertambahnya jarak. Akurasi dalam pendugaan jarak secara keseluruhan untuk rintangan yang terdeteksi juga masih rendah, yaitu 67.5%.

Kata Kunci: traktor tanpa awak, sistem deteksi, rintangan, pengolahan citra

Diterima: 01 Agustus 2011; Disetujui: 04 Januari 2012

Pendahuluan

Dalam dua dekade terakhir ini telah berkembang pesat suatu teknologi yang disebut dengan istilah *unmanned vehicle* yang disebut juga dengan kendaraan tanpa awak. Berhubungan dengan hal tersebut, disebut sistem navigasi kendaraan

menjadi salah satu bagian yang penting dalam teknologi ini. Salah satu sistem navigasi yang banyak diaplikasikan saat ini adalah navigasi berbasis Real-Time Differential Global Positioning System (RTK DGPS) dan berbasis sistem visual. Sistem navigasi berbasis visual masih belum banyak diterapkan, dikarenakan biaya yang lebih mahal jika

¹ Dosen pada Departemen Teknik Mesin dan Biosistem Fakultas Teknologi Pertanian- Institut Pertanian Bogor. \ Email: usmanahmad@ipb.ac.id

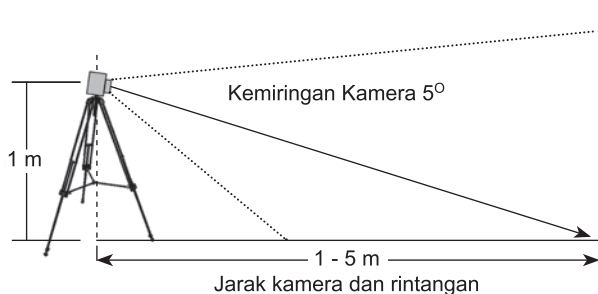
² Dosen pada Departemen Teknik Mesin dan Biosistem Fakultas Teknologi Pertanian - Institut Pertanian Bogor

³ Alumni Program Sarjana pada Departemen Teknik Mesin dan Biosistem Fakultas Teknologi Pertanian -Institut Pertanian Bogor.

dibandingkan dengan menggunakan GPS. Sistem navigasi berbasis visual yang dimaksudkan adalah sistem deteksi rintangan (*obstacle avoidance*) secara *real time*.

Dalam bidang teknik pertanian, sistem visual atau pengolahan citra banyak digunakan untuk pemeriksaan mutu produk pertanian hortikultura seperti buah dan sayuran. Menurut Ahmad (2005), pengertian dari pengolahan citra (*image processing*) sedikit berbeda dengan pengertian mesin visual (*machine vision*), meskipun keduanya seolah-olah dapat digunakan dengan maksud yang sama. Terminologi pengolahan citra dipergunakan bila hasil data yang berupa pengolahan citra juga berbentuk citra yang lain, yang mengandung atau memperkuat informasi khusus pada citra hasil pengolahan sesuai dengan tujuan pengolahannya. Sedangkan terminologi mesin visual digunakan jika data hasil pengolahan citra langsung diterjemahkan ke dalam bentuk lain, misalnya grafik yang siap diinterpretasikan untuk tujuan tertentu, gerak peralatan atau bagian dari peralatan mekanis, atau aksi yang lain yang berarti bukan merupakan citra lagi (Jain et al. 1995). Dengan demikian, pengolahan citra merupakan bagian dari mesin visual, karena untuk menghasilkan keluaran selain citra, informasi dari citra yang ditangkap oleh kamera juga perlu diolah dan dipertajam pada bagian-bagian tertentu.

Menurut Soetiarso et. al. (2001) otomasi penggunaan traktor pertanian di masa mendatang merupakan sesuatu yang perlu mendapat perhatian sejak saat ini. Namun demikian, otomasi traktor pertanian harus memenuhi beberapa persyaratan, antara lain multifungsi dalam pemakaian di lapangan, serta mudah dalam pengoperasian dan perawatan dengan biaya terjangkau. Salah satu bagian penting yang perlu dikaji untuk mewujudkan *smart tractor* tersebut adalah mengenai sistem visual. Menurut Ribeiro (2005), penghindaran rintangan mengarah kepada metodologi mengenai bentuk jalur dari robot untuk melewati rintangan yang tidak dikehendaki. Pergerakan yang dihasilkan tergantung dari lokasi aktual robot dan sistem pembacaan sensor. Terdapat beragam jenis algoritma untuk penghindaran rintangan berdasarkan perencanaan kembali (*replanning*) atas perubahan reaktif terhadap strategi kontrol.



Gambar 1. Ilustrasi pengambilan citra pemandangan di depan traktor

Banyak teknik yang ditawarkan secara berbeda untuk penggunaan data sensori dan strategi kontrol pergerakan untuk melewati rintangan. Tujuan penggunaan sistem navigasi otomatis pada traktor pertanian antara lain untuk mengatasi menurunnya kinerja traktor karena faktor kelelahan dari operator, dan untuk meningkatkan ketelitian dan produktifitas pengoperasian traktor dalam kegiatan budidaya pertanian (Ahmad et. al., 2010).

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan metoda deteksi rintangan menggunakan kamera CCD untuk deteksi rintangan sebagai salah satu perangkat pemandu pada traktor tanpa awak. Penelitian ini merupakan bagian dari topik penelitian pengembangan traktor pintar (*smart tractor*) yang dilengkapi dengan sistem pengarah otomatis (*automatic guidance system*).

Metodologi

1. Tempat dan Waktu Pelaksanaan

Kegiatan penelitian ini dilaksanakan selama enam bulan terhitung dari Maret 2011 sampai dengan September 2011 di Laboratorium Teknik Pengolahan Pangan dan Hasil Pertanian (TPPHP), Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian IPB, dan di Laboratorium Lapangan Leuwikopo, Departemen Teknik Mesin dan Biosistem IPB.

2. Bahan, Peralatan dan Prosedur

Bahan dan peralatan yang digunakan adalah sampel rintangan (berupa pohon, tiang listrik, manusia yang terdapat di pemandangan dan dinding untuk melakukan setting posisi laser di kamera), kamera CCD, tripod untuk tempat dudukan kamera CCD, laser pointer warna merah dan satu set komputer lengkap dengan interface firewire ke kamera CCD. Bahasa pemrograman yang digunakan adalah C# dengan lingkungan pengembangan SharpDevelop versi 3.2.

Pengambilan citra dibedakan menjadi dua macam, yaitu untuk citra setting dan citra rintangan. Untuk citra setting dilakukan dua kali. Pertama, dilakukan pengambilan citra di outdoor yang dilakukan di Laboratorium Lapangan Leuwikopo, Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, IPB. Laser dengan kamera ditembakkan ke dinding berwarna putih. Dari citra outdoor yang didapat dicari nilai RGB dari laser merah menggunakan software Paint Shop Pro versi 6. Kedua, dilakukan pengambilan citra di koridor gedung Fakultas Teknologi Pertanian dengan kondisi agak redup. Laser dengan kamera ditembakkan ke dinding yang terdapat pada koridor Fakultas Teknologi Pertanian. Posisi laser merah pada citra yang didapat dari koridor dijadikan sebagai kalibrasi perkiraan jarak program yang dibuat. Untuk citra rintangan, dilakukan pengambilan citra rintangan di Laboratorium Lapangan Leuwikopo,

Tabel 1. Tingkat keberhasilan deteksi rintangan dengan jarak pengambilan citra 1 hingga 5 m

Jumlah Citra	Jarak Pengambilan Citra (m)				
	1	2	3	4	5
10	100%	-	-	-	-
10	-	80%	-	-	-
10	-	-	40%	-	-
10	-	-	-	0%	-
10	-	-	-	-	0%

Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, IPB. Rintangan tersebut diantaranya berupa pohon, tiang listrik dan manusia.

Kamera CCD yang digunakan untuk menangkap citra lintasan yang akan dilintasi traktor ditempatkan pada tripod dengan ketinggian 1 m dari atas tanah dengan posisi agak menunduk, sebesar 5° terhadap garis horizontal yang terlihat seperti pada Gambar 1. Citra medan yang akan dilintasi dengan traktor direkam dengan resolusi 640 x 480 piksel. Enam buah laser pointer ditempatkan pada tubuh kamera CCD sebagai penanda bila di depan ada rintangan. Pengambilan citra dilakukan jarak 1 m hingga 5 m dari rintangan yang ada di depan sampai kamera CCD.

3. Pengolahan Citra

Program pengolah citra untuk deteksi rintangan dibuat menggunakan bahasa pemrograman Visual C#. Nilai RGB laser digunakan untuk menentukan batas nilai *thresholding* merah yang dicantumkan pada program pengolah citra untuk deteksi rintangan. Untuk penentuan batas nilai RGB digunakan citra yang diambil di luar ruangan. Sedangkan untuk kalibrasi perkiraan jarak dan penentuan acuan posisi laser, digunakan citra dinding gedung Fakultas Teknologi Pertanian. Sebagai indikator pendeteksian jarak, perlu diketahui posisi dari tiap laser yang terdapat pada citra berupa posisi koordinat x dan y. Dengan diketahuinya posisi koordinat x dan y dari masing-masing laser dapat diperoleh jarak piksel tiap laser terhadap titik pusat citra. Gambar 2 memperlihatkan posisi titik laser merah pada citra berdasarkan metode Euclidean. Dengan resolusi citra 640 x 480 piksel, dapat diketahui bahwa koordinat pusat citra dalam piksel adalah (319, 239). Sehingga rumus perhitungan jarak menggunakan metode Euclidean adalah:

$$d_n = \sqrt{(319 - X_n)^2 + (239 - Y_n)^2} \quad (1)$$

dengan $n = 1, 2, 3 \dots 6$

Hasil perhitungan jarak titik laser terhadap pusat citra pada setting dibandingkan dengan jarak

pengambilan citra untuk mengetahui regresi dan korelasi diantara keduanya. Hasil regresi dari jarak titik laser terhadap pusat citra pada dengan jarak pengambilan citra digunakan sebagai acuan untuk perkiraan jarak rintangan yang ada di depan.

Program pengolah citra yang dirancang untuk deteksi rintangan memproses citra rintangan dengan melakukan beberapa proses terlebih dahulu sebelum dihasilkan perkiraan jarak rintangan. Pertama dilakukan binerisasi terhadap laser merah yang tertangkap citra dengan *thresholding* warna merah. Hasil binerisasi berupa citra biner, dimana laser merah yang terdapat pada citra menjadi berwarna putih dan warna lain menjadi hitam. Kemudian dilakukan proses morfologi (kombinasi erosi, dilasi, opening dan closing) untuk memperbaiki interpretasi citra biner. Dari hasil interpretasi citra biner laser merah, program akan menentukan posisi piksel laser yang terdapat pada citra, kemudian menentukan berapa piksel jarak posisi laser terhadap pusat piksel citra dan memperkirakan jarak rintangan yang terdapat di depandalam satuan meter berdasarkan prinsip segitiga sebangun. Akurasi perkiraan jarak rintangan dihitung menggunakan persamaan:

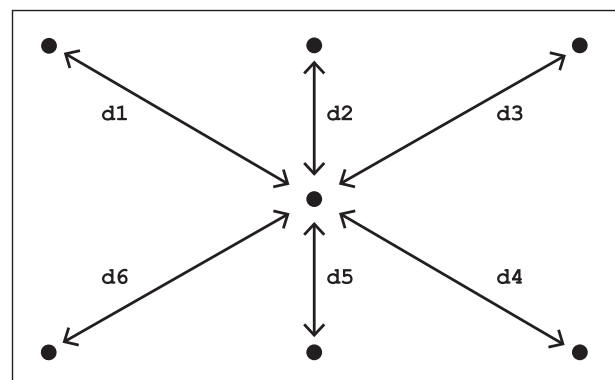
$$akurasi = 1 - \left| \frac{Jp - Js}{Js} \times 100\% \right| \quad (2)$$

dengan Jp = jarak perkiraan oleh program citra,
 Js = jarak sebenarnya

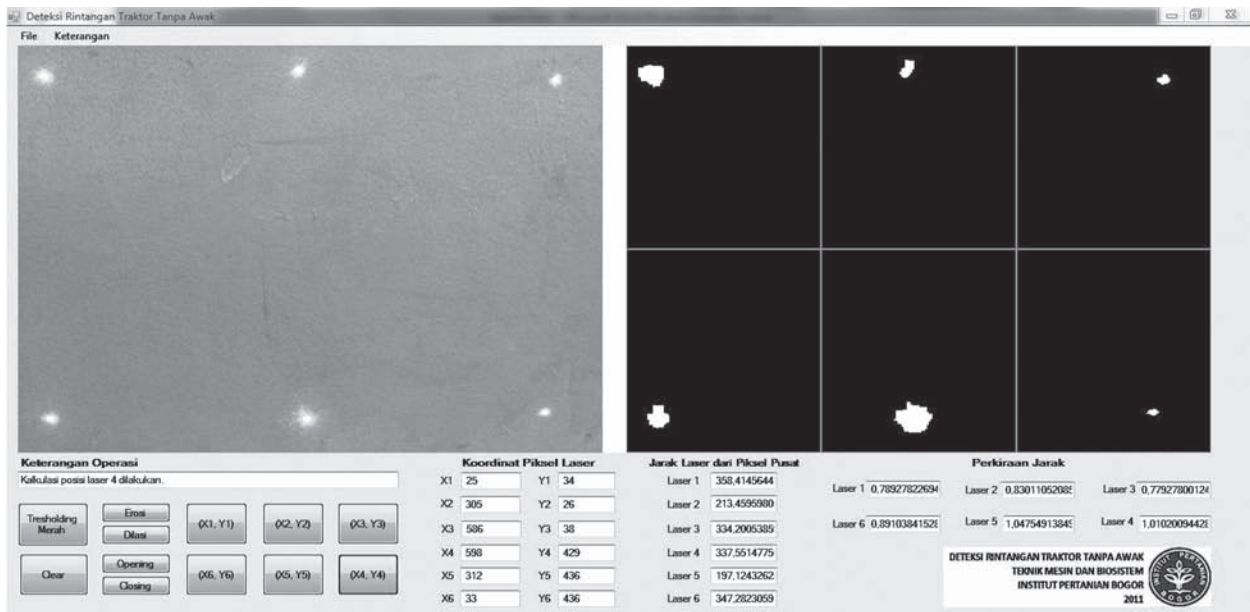
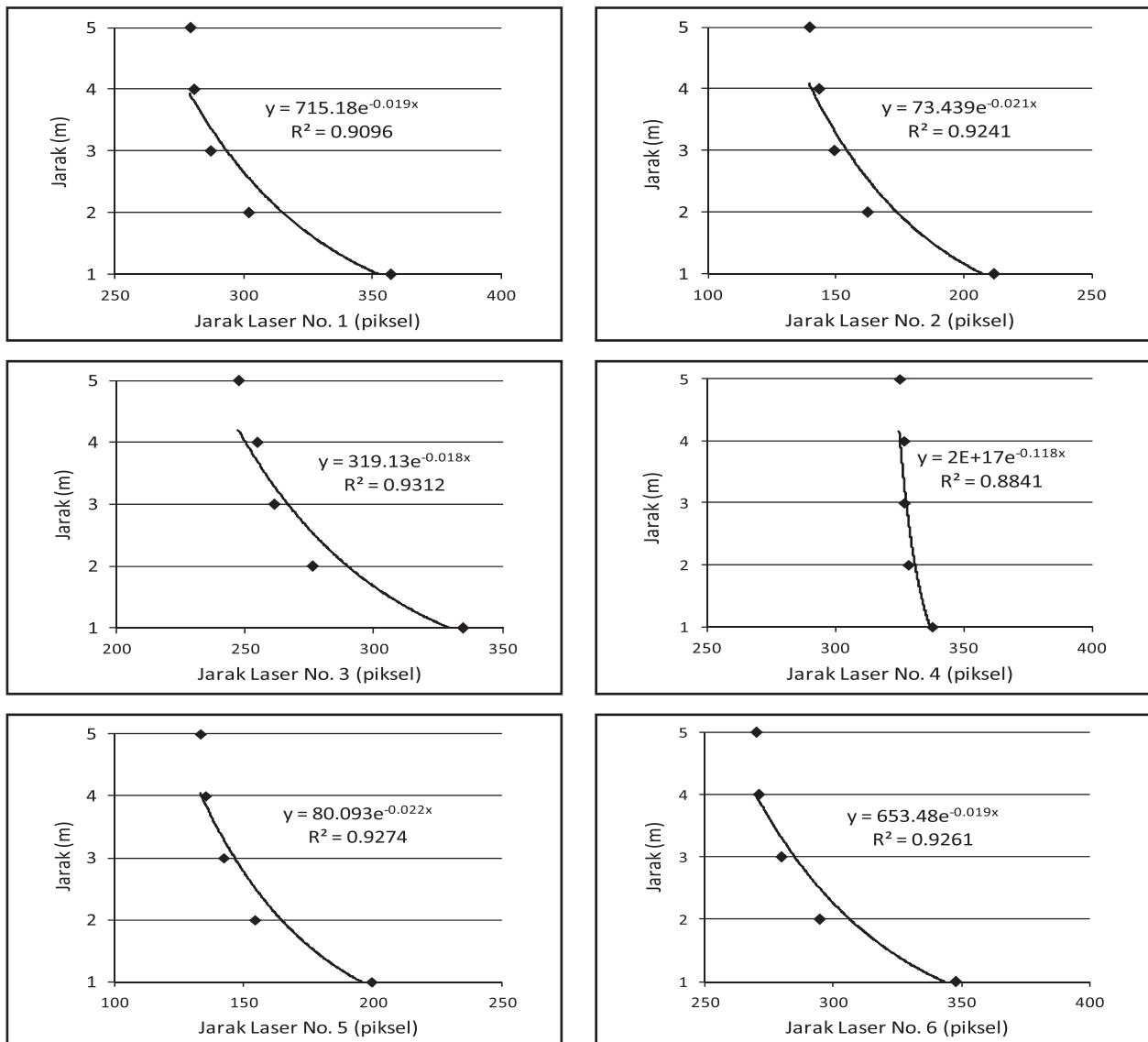
Hasil dan Pembahasan

1. Deteksi Rintangan

Dengan metode *trial and error*, didapatkan untuk nilai $r=0.403$, $g=0.292$ dan $g=0.32$ untuk melakukan proses *thresholding*. Notasi r , g , dan b masing-masing untuk nilai R , G , dan B pada model warna RGB yang telah dinormalisasi. Nilai-nilai tersebut dicantumkan pada program pengolah citra deteksi rintangan. Citra yang telah disimpan dalam harddisk dianalisis untuk melakukan deteksi rintangan. Program deteksi rintangan dibangun menggunakan bahasa pemrograman C#. Dari citra yang telah diolah tersebut didapatkan interpretasi



Gambar 2. Jarak titik laser merah ke pusat citra berdasarkan metode Euclidean

Gambar 3. Tampilan program pada saat proses *thresholding* merah terhadap citra dinding dengan jarak 1 m

Gambar 4. Hubungan jarak laser No. 1 hingga No. 6 terhadap pusat citra dengan jarak rintangan pada pengambilan citra untuk kalibrasi

Tabel 2. Jarak tiap titik laser merah terhadap piksel pusat pada tiap pengambilan citra rintangan dari jarak 1 m hingga 5 m

Jarak Rintangan (m)	Jarak Piksel Laser terhadap Piksel Pusat (piksel)					
	d1	d2	d3	d4	d5	d6
1	357	211	334	337	199	347
2	301	162	275	328	154	294
3	287	149	261	326	142	279
4	280	143	254	326	135	270
5	279	139	247	324	133	269

dari titik laser merah yang digunakan sebagai indikator deteksi jarak rintangan di depan traktor. Gambar 3 menunjukkan tampilan program dalam mendeteksi laser merah yang mengindikasikan adanya rintangan di depan.

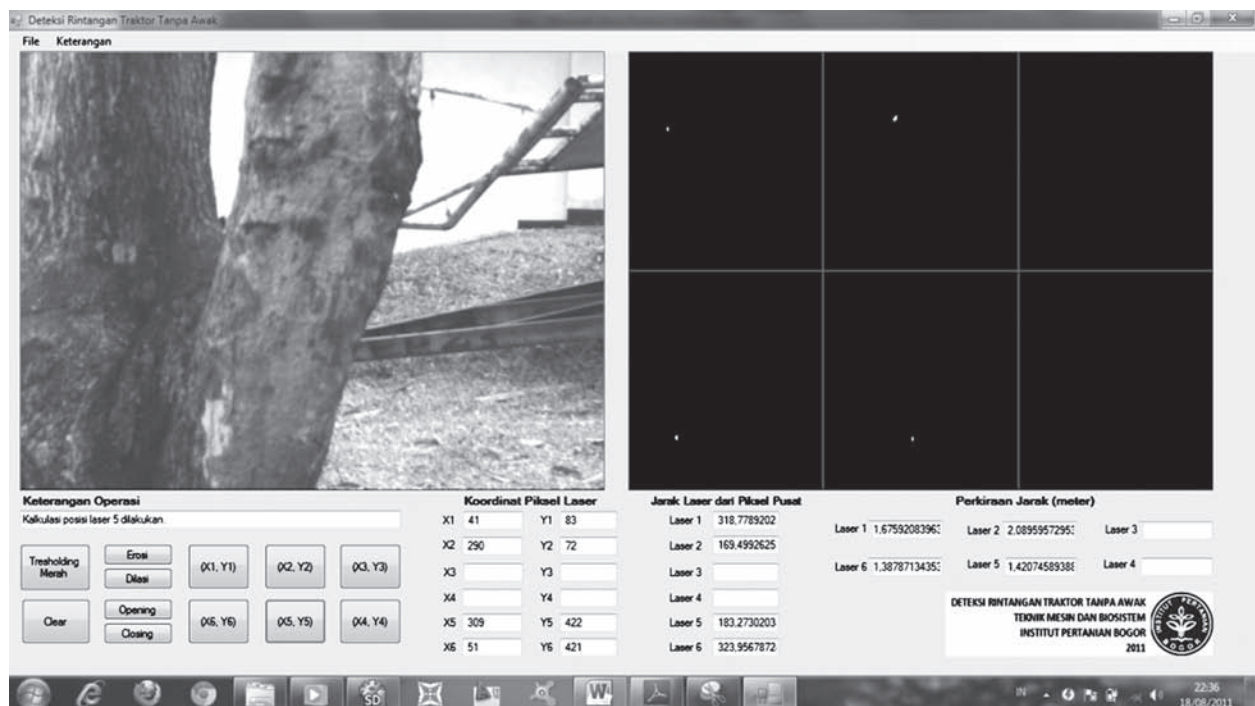
Keberhasilan program dalam mendeteksi laser merah di dinding dengan jarak pengambilan citra 1 m hingga 5 m disajikan pada Tabel 1.

2. Kalibrasi dan Perhitungan Jarak

Kalibrasi dilakukan sebagai acuan untuk mengetahui bagaimana posisi laser merah pada citra ketika dilakukan pengambilan citra dengan jarak yang berbeda dari 1 m hingga 5 m. Dari citra biner yang dihasilkan setelah dikenakan proses binerisasi dan morfologi dapat diketahui koordinat posisi laser merah yang terdapat pada citra. Kemudian secara otomatis program pengolah

citra akan menampilkan hasil perhitungan jarak posisi laser terhadap pusat piksel citra dengan menggunakan metode Euclidean. Hasil perhitungan jarak piksel laser terhadap piksel pusat citra dapat dilihat pada Tabel 2. Hubungan antara jarak piksel tiap laser terhadap piksel pusat citra dengan jarak rintangan pada pemandangan divisualisasikan dengan menggunakan grafik seperti yang tertera pada Gambar 4 untuk laser nomor 1 hingga nomor 6.

Dari informasi yang terdapat pada Tabel 2, diketahui bahwa semakin jauh jarak pengambilan citra rintangan, maka jarak dari masing-masing nomor laser terhadap koordinat pusat citra semakin menurun, meskipun penurunan dari masing-masing laser tidak seragam. Hal ini menginformasikan bahwa semakin jauh jarak rintangan maka posisi dari masing-masing laser semakin mendekati



Gambar 5. Citra pemandangan dengan rintangan berupa pohon dengan jarak pengambilan citra 1 m, dimana laser pointer nomor 1, 2, 5 dan 6 mendeteksi adanya rintangan

koordinat pusat citra. Dari persamaan regresi eksponensial antara jarak piksel tiap laser terhadap jarak rintangan pada pemandangan dengan korelasi nilai R^2 tertinggi 0.9312 untuk laser no. 3 dan terendah 0.8841 untuk laser no. 4. Regresi eksponensial yang didapat dari tiap titik laser dalam citra kalibrasi digunakan sebagai acuan penentuan perkiraan jarak rintangan yang terdapat di depan traktor pada percobaan selanjutnya.

3. Pendugaan Jarak Rintangan

Setelah regresi eksponensial yang didapat dari citra kalibrasi untuk setiap titik laser dilakukan, persamaan untuk menduga jarak rintangan yang terdeteksi dari kamera dimasukkan ke dalam program. Ada beberapa citra rintangan yang diambil, diantaranya citra dengan rintangan berupa pohon, tiang listrik dan manusia. Citra pemandangan yang diperoleh kualitasnya dipengaruhi oleh intensitas matahari, yang nilai lebih besar dari 2000 candela. Intensitas matahari mempengaruhi kenampakan sinar laser merah dari pointer yang tertangkap oleh kamera. Semakin tinggi intensitas matahari, maka laser merah semakin samar sehingga tidak tertangkap dengan baik oleh kamera CCD.

Fokus kamera disesuaikan untuk setiap pengambilan citra pada pemandangan karena kamera CCD yang digunakan tidak dilengkapi fasilitas *autofocus*. Pada beberapa citra yang diambil seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3, setelah dilakukan operasi *thresholding* merah, sinar laser yang tertangkap oleh kamera tidak seragam. Ketidakteraturan tersebut dipengaruhi oleh kualitas laser pointer yang digunakan. Kekuatan sinar laser yang dihasilkan oleh enam laser pointer yang digunakan ternyata tidak sama.

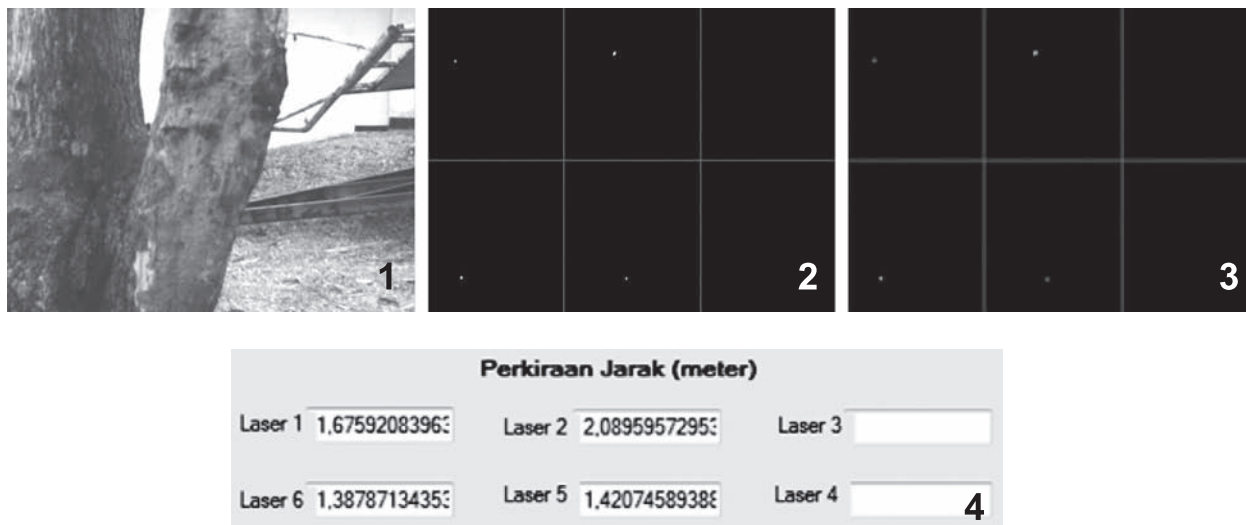
Gambar 5 mengilustrasikan proses deteksi dan pendugaan jarak rintangan berupa batang pohon di lahan. Urutan proses dan hasil pendugaan jarak

disajikan pada Gambar 6. Pada contoh ini program berhasil mendeteksi adanya rintangan dan menduga jaraknya, berdasarkan laser no. 1 jarak rintangan adalah 1.67 m, laser no. 2 jarak rintangan 2.08 m, laser no. 5 jarak rintangan 1.42 m, dan berdasarkan laser no. 6 jarak rintangan adalah 1.38 m. Dari perkiraan jarak yang didapat, terjadi kesalahan perkiraan jarak yang cukup besar. Beberapa faktor yang diduga mengakibatkan kesalahan tersebut diantaranya adalah posisi laser pointer yang bergeser pada saat pengambilan citra sehingga tidak lagi sama dengan posisi saat pengambilan citra untuk kalibrasi. Penyebab utama bergesernya posisi laser pointer dikarenakan konstruksi dudukan pointer yang belum kokoh.

Secara umum, kemampuan sistem untuk mendeteksi adanya rintangan sekaligus menduga jaraknya masih rendah (Tabel 3). Sedikitnya rintangan yang terdeteksi pada jarak 3 m dan tidak adanya rintangan yang terdeteksi pada jarak 4 m dan 5 m (Tabel 1) disebabkan laser pointer yang digunakan belum cukup kuat sehingga titik merah yang diharapkan terang mencolok tidak tercapai. Dari sejumlah rintangan yang terdeteksi pada jarak 1 dan 2 m, rata-rata akurasi pendugaan jarak rintangan juga masih rendah, yaitu 67.5%. Hal ini disebabkan oleh konstruksi dari dudukan pointer yang belum kokoh sehingga terjadi pergeseran dalam pengambilan citra di lahan. Dengan demikian, hasil kalibrasi untuk pendugaan jarak yang dilakukan pada tahap sebelumnya menjadi tidak akurat.

Kesimpulan

Deteksi rintangan untuk traktor tanpa awak menggunakan kamera CCD dapat diaplikasikan dengan tingkat keberhasilan 100 % untuk jarak rintangan 1 m, 80 % untuk jarak rintangan 2 m, 40



Gambar 6. Urutan operasi yang dikenakan untuk mendeteksi jarak rintangan pada citra dengan rintangan 1 m di depan: 1) citra yang diambil, 2) setelah dilakukan operasi *thresholding*, 3) setelah dilakukan operasi opening dan 4) informasi perkiraan jarak

Tabel 3. Akurasi perkiraan jarak rintangan oleh program pengolah citra untuk rintangan terdeteksi dengan jarak 1, 2, dan 3 m

Jarak Rintangan Sebenarnya (m)	Jarak Rintangan Hasil Dugaan (m)	Akurasi Dugaan Jarak Rintangan (%)
1	1.211	78.9
1	1.284	71.6
1	1.123	87.7
1	0.866	86.6
1	0.660	66.0
1	1.536	46.4
1	1.228	77.2
1	1.500	50.0
1	1.733	26.7
1	1.721	27.9
1	0.428	42.8
1	1.721	27.9
1	1.302	69.8
1	0.821	82.1
1	1.068	93.2
1	0.702	70.2
1	1.494	50.6
2	2.066	96.7
2	1.363	68.2
2	0.172	8.6
2	2.875	56.3
2	2.604	69.8
2	2.256	87.2
2	2.061	97.0
2	3.262	36.9
2	1.737	86.9
2	1.894	94.7
2	2.104	94.8
3	3.522	82.6
3	3.304	89.9
Rata-rata Akurasi Dugaan Jarak Rintangan		67.5

% untuk jarak 3 m dan 0 % untuk jarak 4 m dan 5 m. Dua faktor yang mempengaruhi hasil deteksi rintangan yaitu intensitas matahari dan kekuatan laser pointer yang digunakan. Akurasi perkiraan jarak terhadap rintangan yang terdeteksi pada jarak kamera 1 m, 2 m, dan 3 m masih rendah, yaitu 67.5%. Hal ini disebabkan oleh konstruksi dari kedudukan pointer yang masih belum kokoh sehingga kedudukannya mudah berubah ketika digunakan di lahan.

Ucapan Terima kasih

Ucapan terima kasih disampaikan proyek I-MHERE IPB tahun 2011, di mana penelitian ini merupakan sub-topik dari penelitian pengembangan *smart tractor* yang dibiayai pos penelitian I-MHERE B.c.

Daftar Pustaka

- Ahmad, U. 2005. *Pengolahan Citra Digital dan Teknik Pemrogramannya*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Ahmad, U., Desrial, Subrata, I. D. M. 2010. Pengembangan Algoritma Pengolahan Citra untuk Menghindari Rintangan pada Traktor Tanpa Awak. PROSIDING Seminar Nasional Perteta 2010, "Revitalisasi Mekanisasi Pertanian dalam Mendukung Ketahanan Pangan dan Energi", Purwokerto, 10 Juli 2010.
- Jain R, Kasturi R, and Schunck BG. 1995. *Machine Vision*. New York: McGraw-Hill Book, Inc.
- Ribeiro, M. I. 2005. Obstacle Avoidance. <http://users.isr.ist.utl.pt/~mir/pub/ObstacleAvoidance.pdf> [2 Februari 2011]
- Soetiarso, L. 2001. Study on trajectory control for autonomos agricultural vehicle aiming approach to the target object – automatic fertilizer refilling operation (PhD thesis). Tsukuba University, Japan.